

Т.А. ОПРИЩЕНКО, канд. техн. наук

Повышение стойкости пуансонов для холодного выдавливания

На основе исследований установлено, что при двукратном отпуске (после закалки) стали Р6М5 ее твердость, предел текучести при сжатии и предел прочности при изгибе после второго отпуска определяются стадией завершения первого отпуска. Для пуансонов из стали Р6М5, предназначенных для холодного выдавливания, предложены режимы двукратного отпуска, позволяющие повысить стойкость пуансонов в 1,6 – 2,0 раза по сравнению со стойкостью, достигаемой при традиционном режиме отпуска.

It is found experimentally that in the case of double tempering (after quenching) of P6M5 steel, its hardness, compressive yield stress and bending strength after the second tempering is defined by the final stage of the first tempering. For punches made of P6M5 steel and purposed for cold extrusion, there are proposed the regimes of double tempering which enable to increase their die life by 1.6 – 2.0 times as compared to that obtained by traditional tempering regimes.

Цель данной работы – исследование возможности повышенной стойкости пуансонов, изготовленных из быстрорежущей стали Р6М5 и предназначенных для холодного выдавливания велосипедной втулки из стали 15Х.

Для определения причины разрушения исследуемых пуансонов был проведен фрактографический анализ их изломов, который показал хрупкое разрушение от малоциклового усталости до наступления износа. Такое разрушение свидетельствует о необходимости объемного упрочнения, которое может обеспечить только термическая обработка.

Изучение причин выхода из строя пуансонов холодного выдавливания, изготовленных из быстрорежущей стали, показало, что даже в одном технологическом процессе у пуансонов разных переходов характер разрушающих напряжений может быть разным. Поэтому к материалу пуансонов предъявляются различные требования, например, высокое значение предела текучести при сжатии либо достаточное сопротивление изгибающим нагрузкам, либо определенный уровень твердости.

Стандартный режим термообработки стали Р6М5 – закалка в масло с 1220_10°C и двух- или трехкратный отпуск при 550_10°C по 1 ч. Многократный отпуск проводят для полного превращения остаточного аустенита.

Снижение температуры закалки ведет к уменьшению степени легированности твердого раствора, что отрицательно сказывается на прочности и износостойкости стали. Повышение температуры закалки ведет к перегреву, вызывающему охрупчивание. Поэтому температуру закалки менять нецелесообразно.

Известно, что первый отпуск закаленной стали приводит к снятию напряжений в мартенсите, а также к интенсификации дисперсионного твердения, включающего стадию предвыделения, образование метастабильных, а затем стабильных цементитных карбидов, их преобразование в специальные карбиды с последующей их коагуляцией. Следовало ожидать, что прерывание первого отпуска в различные моменты карбидных превращений приведет к получению различных значений механических свойств стали.

Для моделирования процесса отпуска в широком интервале температур, скоростей нагрева и времени выдержки в работе использовали установку электроконтактного нагрева и селитровую печь-ванну.

Исследование изменения твердости стали Р6М5 в процессе первого отпуска при 560°C показало немонотонную зависимость твердости от длительности выдержки (рис. 1, кривая 1). Из рис. 1 видно, что в процессе отпуска твердость закаленной стали падает дважды.

Первичное снижение твердости закаленной стали происходит вследствие обеднения пересыщенного мартенсита закалки углеродом. Последующее повышение твердости обусловлено интенсификацией процессов дисперсионного твердения, т.е. выделением дисперсных специальных карбидов. Вторичное снижение твердости объясняется продолжением распада мартенсита.

Аналогичное изменение твердости наблюдается при всех температурах в исследованном интервале 350 – 560°C. При этом длительность трех характерных стадий – первичного разупрочнения, максимального упрочнения и вторичного разупрочнения – увеличивается с понижением температуры отпуска.

Различные значения после первого отпуска, завершеного на разных стадиях, имеют и другие механические характеристики стали Р6М5. Изменение предела текучести при сжатии $\sigma_{0,2}$ и предела прочности при изгибе $\sigma_{\text{и}}$ на разных стадиях отпуска представлено на рис. 2.

Двукратный отпуск проводили по трем режимам. Параметры второго отпуска во всех режимах были неизменными: нагрев до 560°C, выдержка 1 ч. Первый отпуск проводили также при 560°C, но с различными выдержками. В режиме 1 первый отпуск завершали на

стадии первичного разупрочнения, в режиме 2 – на стадии максимального упрочнения, в режиме 3 – на стадии вторичного разупрочнения.

Установлено, что твердость стали после второго отпуска с увеличением продолжительности первого отпуска монотонно снижается (рис. 1, кривая 2).

В стандартном режиме (режим 2) отпуска стали Р6М5 (двукратный нагрев до 560°С с выдержками по 1 ч) первый отпуск завершается на стадии максимального упрочнения, вследствие чего второй отпуск приводит к снижению твердости с 66 HRC₃ до 65.5 HRC₃ (см. рис. 1), т.е. не обеспечивает максимально возможных значений твердости. Для получения максимальных значений твердости (на 1,0 – 1,5 HRC, выше чем при стандартном режиме) первый отпуск необходимо прерывать на стадии первичного разупрочнения, тогда когда твердость достигает минимального значения.

Как показали исследования, после двукратного отпуска значения предела текучести при сжатии и предела прочности при изгибе будут различны в зависимости от стадии прерывания первого отпуска (рис.3).

Таким образом, твердость, предел текучести при сжатии и предел текучести при изгибе стали Р6М5 после двукратного отпуска определяются стадией завершения первого отпуска. Двукратный отпуск, при котором первый отпуск будет завершен на стадии первичного разупрочнения, приведет к получению максимальных значений твердости и предела текучести при сжатии. Двукратный отпуск, при котором первый будет завершен на стадии вторичного разупрочнения, обеспечит максимальное значение предела прочности при изгибе при достаточно высоких значениях твердости. Полученные результаты свидетельствуют о том, что варьируются режимы отпуска быстрорежущей стали, можно варьировать уровень ее механических свойств. Следовательно, для пуансонов из стали Р6М5 необходимо рекомендовать различные режимы отпуска в зависимости от характера разрушающих напряжений.

Повышение твердости и предела текучести материала ведет, как правило, к его охрупчиванию. В связи с этим важно было выяснить, как изменятся сопротивление стали хрупкому разрушению при использовании предлагаемых режимов отпуска по сравнению со стандартным режимом.

Сопротивление хрупкому разрушению оценивали по трещиностойкости K_{Ic} и сопротивлению микросколу R_{mc} . Коэффициент интенсивности напряжений определяли при циклических испытаниях, так как пуансоны разрушаются вследствие малоциклового усталости. Сопротивление микросколу численно равно пределу текучести при температуре хрупко-вязкого перехода. Для стали Р6М5, относящейся к высокоуглеродистым сплавам, определение конкретной температуры перехода от хрупкого состояния к вязкому затруднено, поэтому за температуру хрупко-вязкого разрушения $T_{х.в}$ условно принимали

такую, при которой растяжение образца вызывает пластическую деформацию, равную 0,2%. Результаты испытаний представлены в табл.1.

Из приведенных данных следует, что прерывание первого отпуска на стадии первичного разупрочнения позволяет повысить твердость и прочность стали Р6М5 при одновременном увеличении вязкости разрушения.

Чтобы объяснить одновременное увеличение твердости и вязкости разрушения, был проведен электронно-микроскопический анализ. Известно, что карбиды, выделяющиеся при отпуске быстрорежущих сталей, отличаются высокой степенью дисперсности и не обнаруживаются с помощью оптического микроскопа. Сопоставление результатов электронно-микроскопического анализа стали после отпуска по режимам 1 и 2 свидетельствует о качественном различии дисперсности и плотности распределения карбидов. Средний размер карбидов после отпуска по режиму 1 составляет 40 нм, а после отпуска по режиму 2- 75 нм, при этом в первом случае карбиды не только имеют более высокую степень дисперсности, но и плотнее распределены в матрице.

Данные рентгеновского анализа позволяют объяснить этот эффект следующим образом. На стадии первичного разупрочнения в матрице появляются когерентные ε – карбиды. По видимому, охлаждение с температур отпуска до комнатной температуры обуславливает появление термических напряжений, релаксация которых приводит к срыву когерентности ε – карбидов. Многочисленные равномерно распределенные ε – карбиды становятся центрами кристаллизации карбидов, образующих в процессе второго отпуска.

Рентгеноструктурный анализ также показал, что межплоскостное расстояние d_{211} решетки α - твердого раствора после режима 1 больше, чем после стандартного режима 2 (0,11760 и 0,11751 нм соответственно). Это свидетельствует о том, что легированность α - твердого раствора после режима 1 остается более высокой, чем после режима 2, чем объясняется высокая твердость стали после режима 1.

Таким образом, в зависимости от требований, предъявляемых к материалу конкретных пуансонов, необходимо выбирать соответствующие режимы двукратного отпуска.

Процесс обратного выдавливания велосипедной втулки из стали 15Х осуществляется в два перехода. Пуансоны из стали Р6М5 на I переходе разрушаются от изгибающих напряжений, а на II переходе – от недостаточного сопротивления материала пластической деформации [1] .

Промышленные испытания, проведенные на Харьковском велосипедном заводе, показали, что стойкость пуансонов I перехода после отпуска по режиму 3 и стойкость пуансонов II перехода после отпуска по режиму 1 возросла соответственно в 1,6 и в 2 раза

по сравнению со стойкостью тех же пуансонов после отпуска по стандартному режиму 2 (табл. 2).